表面汚染用サーベイメータの校正と不確かさ評価事例

2015年9月2日

一般財団法人 日本品質保証機構

高島　誠

発表内容

- はじめに
- 放射線測定器の種類
- 表面汚染用サーベイメータの校正方法
- 不確かさ評価
- （参考）表面汚染の測定方法
- おわりに

はじめに

はじめに

- 適切な線量管理のため、放射線計測が行われている
- 測定対象に適した測定器の選択と正しい測定方法が重要

空間線量率　or　表面汚染

- 放射線測定器には校正が必要
- 測定値のみで不確かさには触れられていない

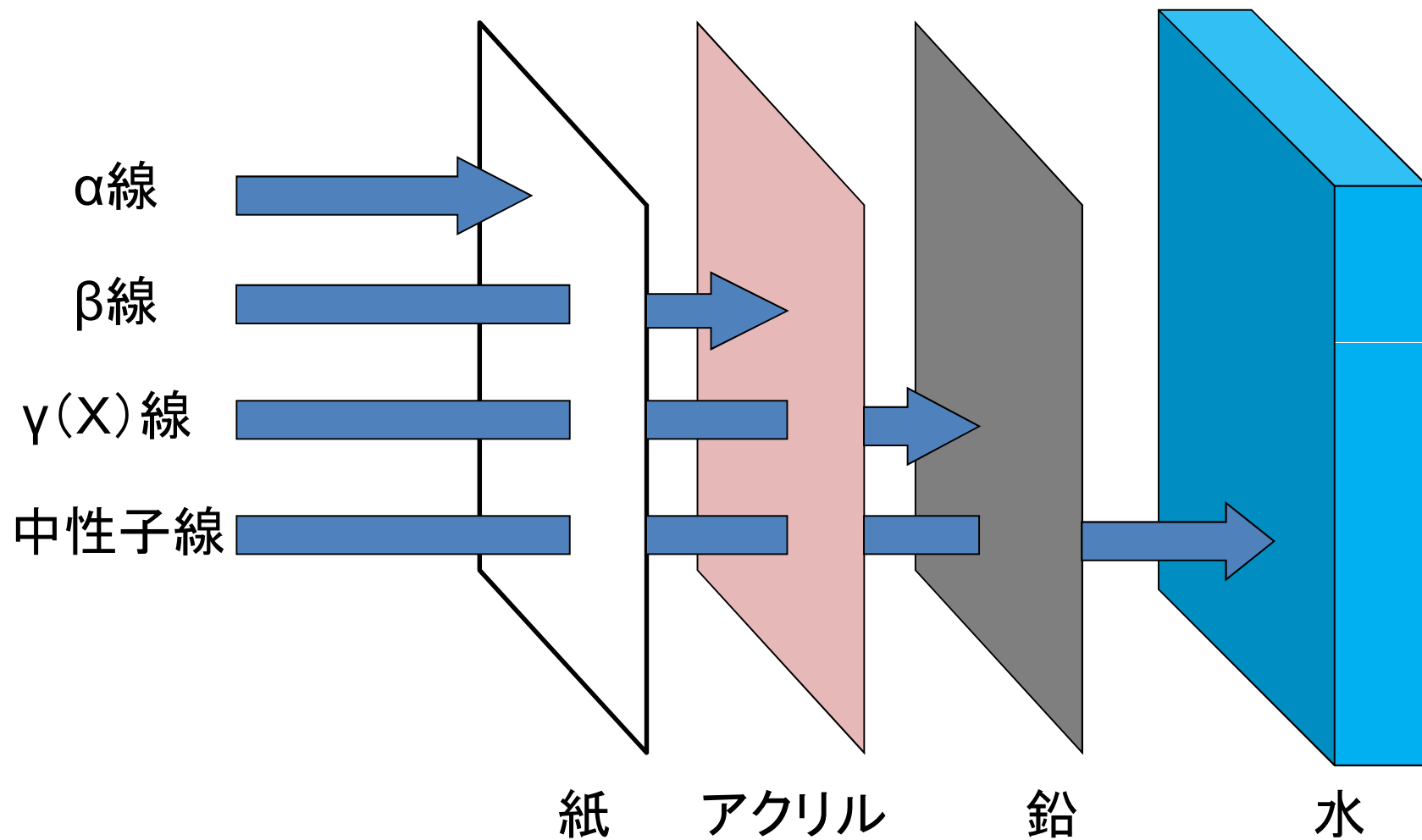
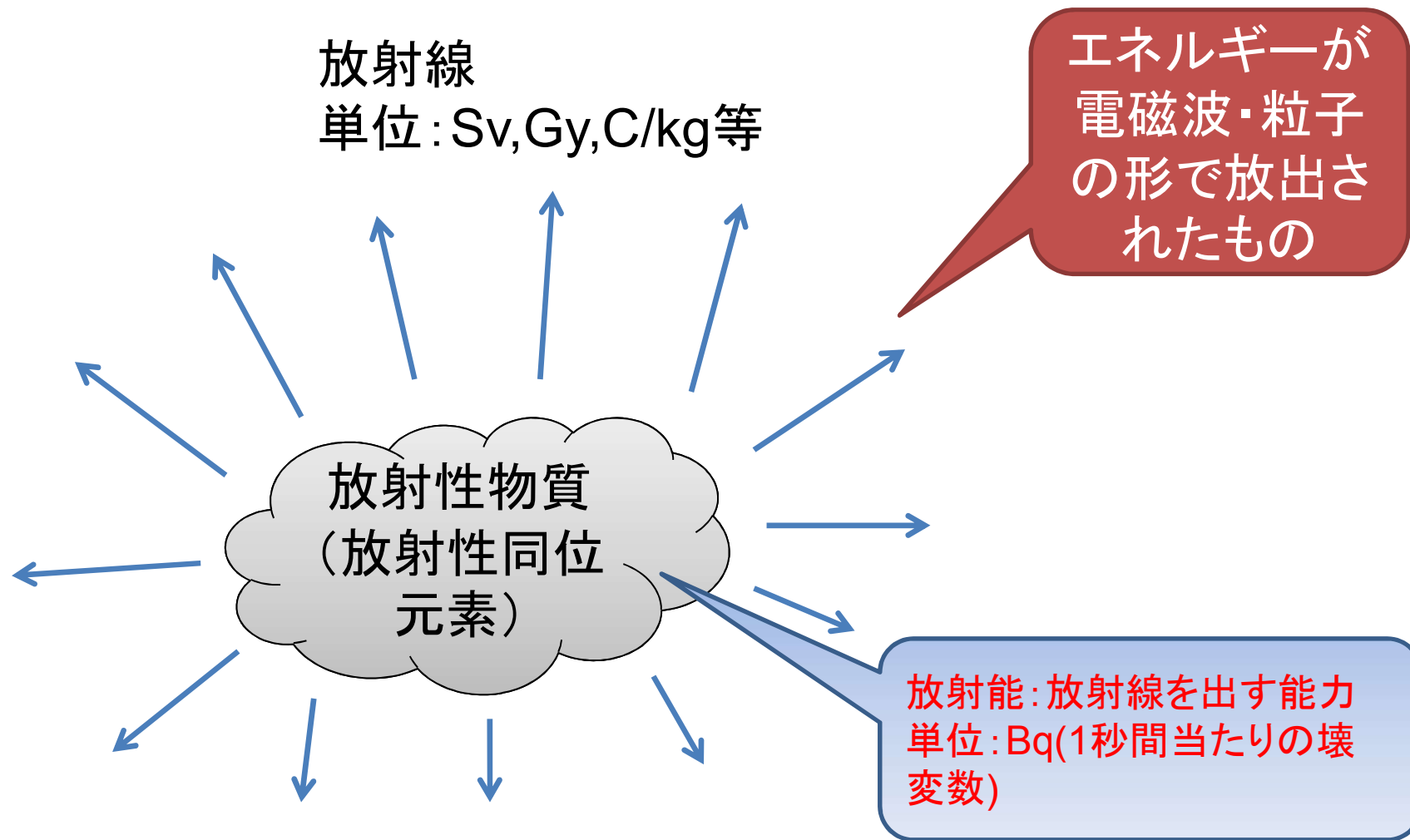
表面汚染用サーベイメータの校正方法と不確かさ

電離放射線

- α線・・・原子核内から放出されるヘリウムの原子核(電荷+2価の荷電粒子)
- β線・・・原子核内で、電子の関与のもと陽子と中性子が互いに変換することに伴い発生する電子線
- γ線・X線・・・原子核内(γ線)・外(X線)から放出される電磁波(光子)
- 中性子線・・・核分裂などによって発生する電荷を持たない粒子

放射線の性質

放射線と放射能

放射線
単位:Sv,Gy,C/kg等
エネルギーが電磁波・粒子の形で放出されたもの
放射性物質（放射性同位元素）
放射能:放射線を出す能力
単位:Bq(1秒間当たりの壊変数)

放射性汚染とは

JIS Z4001:1999　原子力用語より

- 放射性汚染･･･材料又は場所、例えば体外や体内、衣服又は作業場所などに存在する望ましくない放射性物質、若しくはこのような物質が存在すること。

表面汚染用サーベイメータの利用

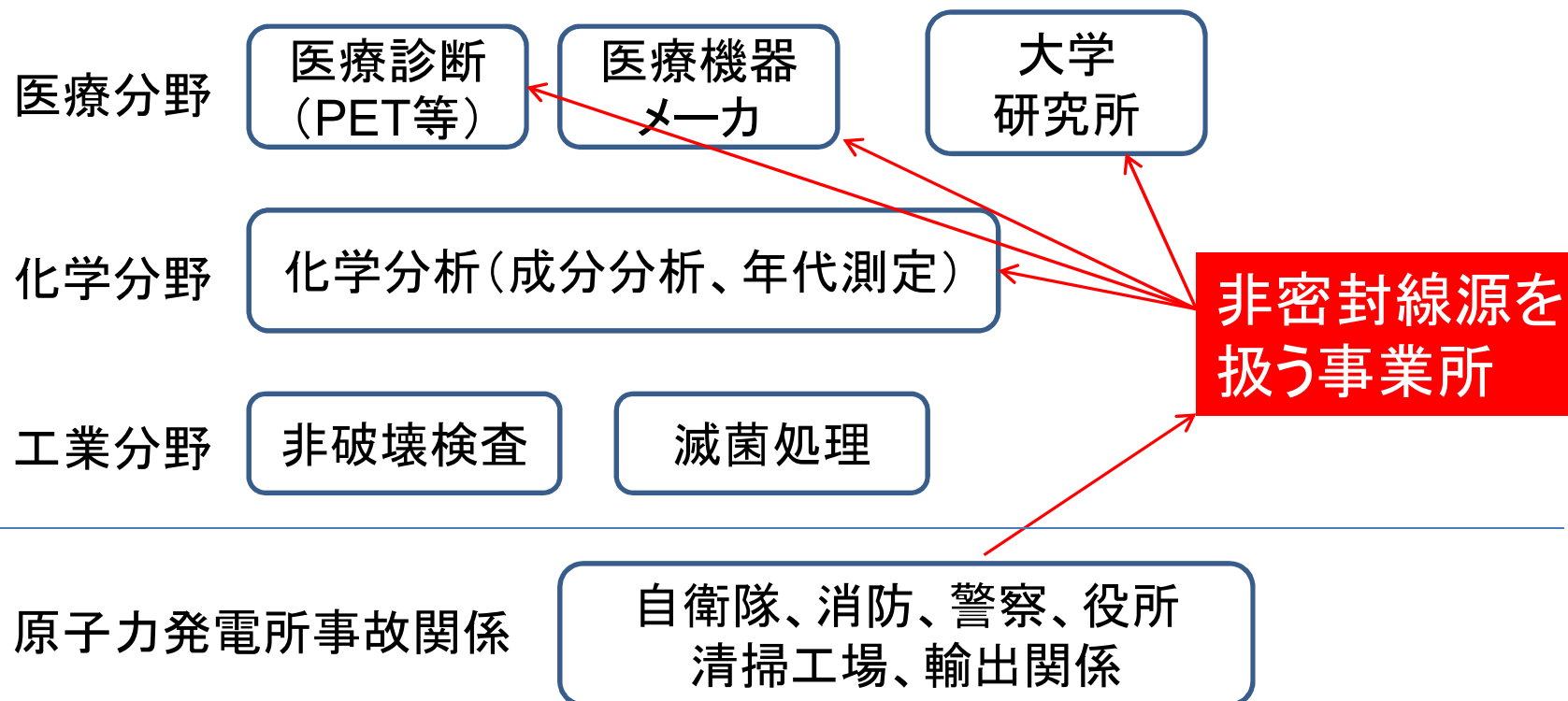
放射性同位元素を扱う事業所

医療分野
- 医療診断（PET等）
- 医療機器メーカ
- 大学 研究所

化学分野
- 化学分析（成分分析、年代測定）

工業分野
- 非破壊検査
- 滅菌処理

非密封線源を扱う事業所

原子力発電所事故関係
- 自衛隊、消防、警察、役所 清掃工場、輸出関係

線源について

JIS Z4001：1999　原子力用語より

- 密封線源･･･放射性物質の散逸及び他の物質との接触を避けるため、カプセルに密封するかカバーを接着した放射性線源。

  （線源販売業者が製品として販売しているもの）

- 非密封線源･･･密封されていないか、又は密封性能が不十分な放射性線源。

  状態：気体・液体・固体（塊・粉末状等）

汚染発生の恐れ有り

放射線測定器の種類

JQAの校正対象放射線測定器

高精度線量計

サーベイメータ

個人線量計

JQA

サーベイメータの種類

α線測定用
TCS-232B

α・β線測定用
TCS-362

β線測定用
TGS-131
TGS-146B
TCS-316H

γ線測定用
TCS-173B
TCS-175B

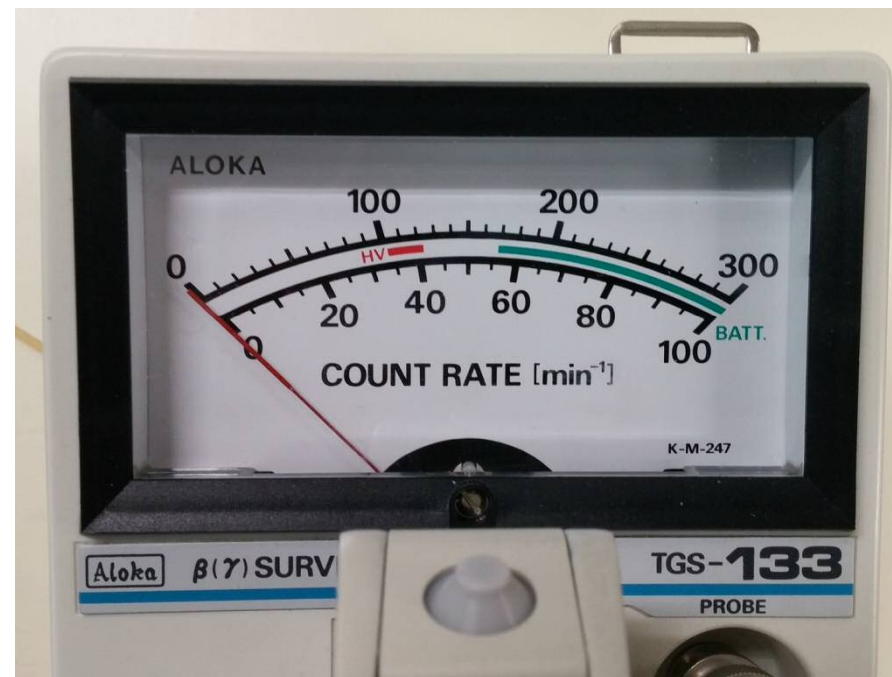
表面汚染検査用

γ(X)線測定用(1cm線量当量率)
ICS-321B
ICS-323B
TGS-131
TCS-171B
TCS-172B

γ線(空気吸収線量率)
TCS-171B

n線測定用
TPS-451C

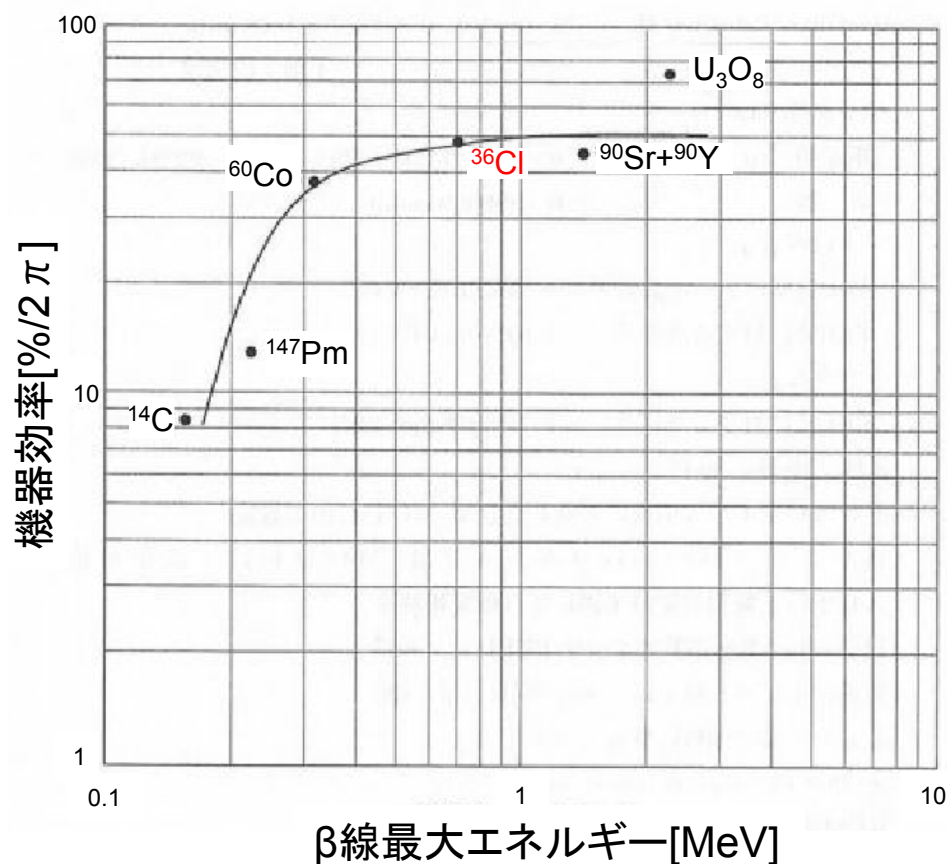
空間線量率測定用

＊日立アロカメディカル
サーベイメータ カタログより

表面汚染用サーベイメータ

放射性物質が付着しても容易に取り除けるように
ビニール等で覆って使用

単位：cpm,cps

エネルギー特性

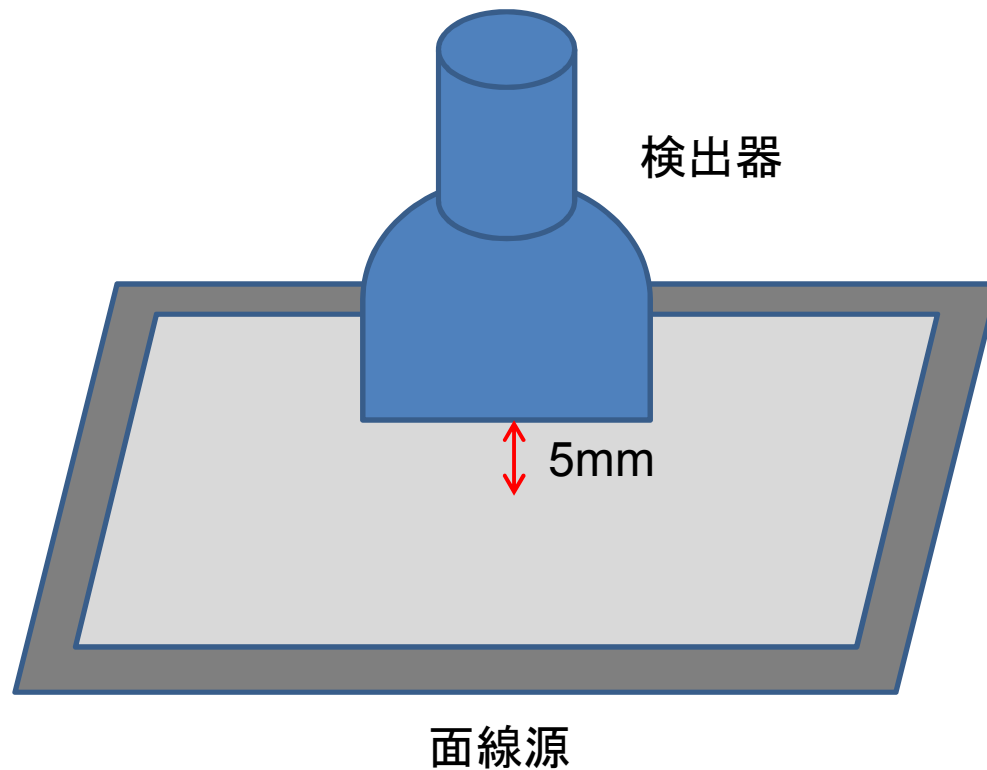
エネルギー特性（JIS Z4329に基づく形式試験データ）
β線エネルギー特性

＊日立アロカメディカル
サーベイメータ取扱説明書より

測定条件
線源ープローブ間距離　5mm
面線源使用

表面汚染用サーベイメータの
校正方法

機器効率の校正①

JIS Z4329:2004　放射性表面汚染サーベイメータ

機器効率:標準線源に対して一定の幾何学的条件で測定したときの、
α線又はβ線表面放出率に対するサーベイメータの正味計数率の比。

①周囲に線源が無い状態でバックグラウンド計数を測定
②検出器を面線源から5mmの位置に設置
③総計数率を測定
④機器効率を計算

機器効率の校正②

ε_i: 機器効率

n : 総計数率(s^{-1})

n_B: バックグラウンド計数率(s^{-1})

φ : 線源の単位面積当たりのα粒子又はβ粒子表面放出率(s^{-1} / cm^2)

A : 検出器の入射窓面積(cm^2)

^{36}Cl標準面線源

^{36}Cl

半減期：3×10^{5}年

(30万年)

放出核種：β線 710keV

大きさ10cm×15cm

校正項目：表面放出率

単位　$s^{-1}/2\pi sr$

トレーサビリティについて

・10cm × 15cmの面線源は国内に標準が無い
・経済産業省の 計量標準整備計画（物理標準）には
　2017年までに供給予定

DAkkS：Deutsche Akkreditierungsstelle: ドイツの認定機関

標準面線源校正証明書

Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH
Gieselweg 1
38110 Braunschweig
Tel. +49 5307 932-0
Fax +49 5307 932-293

Eckert & Ziegler

akkreditiert durch die / *accredited by the*

Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-K-15203-01-00

als Kalibrierlaboratorium im / *as calibration laboratory in the*

Deutschen Kalibrierdienst

027404
D-K-15203-01-00
2014-07

Kalibrierschein
Calibration certificate

Kalibrierzeichen
Calibration mark

Strahler Nr. / *Source number* AE-2775

Gegenstand *Object*	Beta Wide Area Reference Source
Hersteller *Manufacturer*	Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH
Typ *Type*	CIR07032
Strahler-Nr. *Source number*	AE-2775
Auftraggeber *Customer*	Daiichi Clarity Co., Ltd. Chiba 285-0005 Japan
Auftragsnummer *Order No.*	CO00159550
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines *Number of pages of the certificate*	2
Datum der Kalibrierung *Date of calibration*	20 June 2014

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).
Die DAkkS ist Unterzeichner der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.
Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.
This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).
The DAkkS is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.
The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit.
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH and the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.

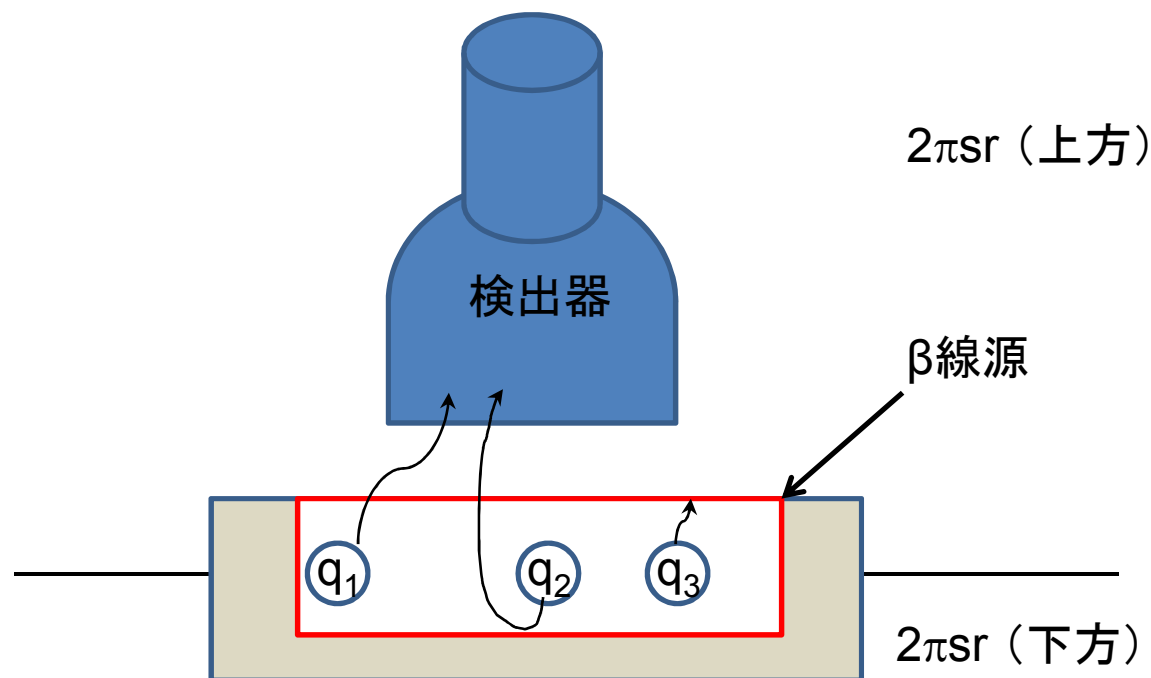
Datum *Date*	Leiter des Kalibrierlaboratoriums *Head of the calibration laboratory*	Bearbeiter *Person in charge*
10 July 2014	Dr. Thieme i.A. E. Held	Schueler

Seite 2
Page

027404
D-K-15203-01-00
2014-07

Beta Wide Area Reference Source

Source no.	AE-2775
Drawing	VZ-628-001
Nuclide	Chlorine-36
Activity	3.35 kBq
Beta surface emission rate	2.09E03 s^{-1} in 2 π steradian
Reference date	20 June 2014 at 12:00 UTC
Dimensions of active surface	150 mm x 100 mm
Overall dimensions	170 mm x 120 mm x 3 mm
Leakage and contamination test	Wipe test according to ISO 9978.
Wipe test passed on	8 July 2014
Construction	Cl-36 is incorporated into the surface of an anodized aluminium foil of 0.3 mm thickness. The thickness of the activated layer is approximately 6 µm. The activated foil is mounted into a holder.
Measuring method	The activity was determined by comparison with a reference source of the same construction. The beta surface emission rate was measured using a windowless proportional counter.
Traceability	Additional to the direct traceability to the PTB through the DAkkS this product complies with the requirements for traceability to NIST specified in the American National Standard "Traceability of Radioactive Sources to the NIST and Associated Instrument Quality Control (ANSI N42.22-1995)". As a requirement of the ANSI N42.22-1995 Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH participates in the NRMAP/NIST Measurements Assurance Program of the Nuclear Power Industry.
Uncertainty	The relative uncertainty of the activity is 5 %, the relative uncertainty of the beta surface emission rate is 3 %. The reported uncertainty, determined according to the DAkkS DKD 3 report is based on the standard uncertainty multiplied by a coverage factor of k = 2, providing a level of confidence of 95 %. (Ref. NIST Technical Note 1297/"Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" ISO Guide, 1995)
Radioactive impurities	Related to Cl-36 (equal 100 %) the following radioactive impurities were detected: none
Quality assurance system	The quality assurance system of Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH was certified by Lloyd's Register Quality Assurance (LRQA) according to ISO 9001, Issue 2008. Isotrak products meet the requirements of 10CFR50 Appendix B in the USA.
Uniformity	The uniformity of the surface emission rate is better than 10 %.
Remark	This is an EZN Class 2 reference source.

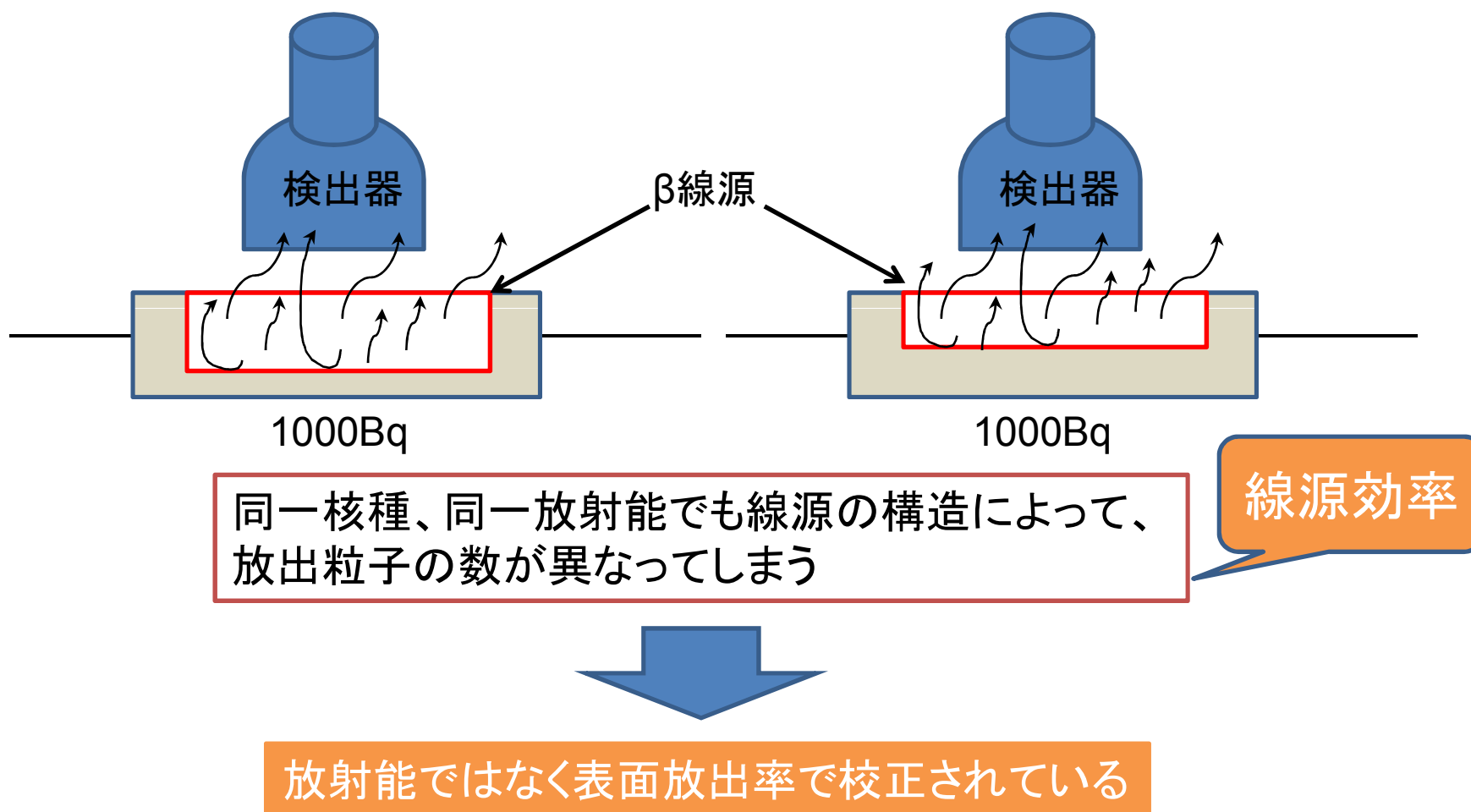
表面放出率について

q_1:放出粒子
q_2:後方散乱粒子
q_3: 自己吸収粒子

線源内での自己吸収や後方散乱によって放出される放射線粒子の数が増減

線源の構造による表面放出率の違い

同一核種、同一放射能でも線源の構造によって、放出粒子の数が異なってしまう

線源効率

放射能ではなく表面放出率で校正されている

標準面線源

JIS Z4334 : 2005
放射性表面汚染モニタ校正用線源
ーβ線放出核種（最大エネルギー0.15MeV以上）及びα線放出核種

推奨β線放出核種

表 1　クラス 1 参照標準線源に推奨する核種及びバッキング材

核種	半減期	最大エネルギー	最小バッキング材厚		
			単位面積当たりの質量	アルミニウム	ステンレス鋼
	年	keV	mg/cm^2	mm	mm
^{14}C	5 730	156	22	0.08	0.03
^{147}Pm	2.62	225	35	0.13	0.04
^{36}Cl	3×10^5	710	170	0.6	0.20
^{204}Tl	3.78	763	180	0.7	0.23
$^{90}Sr+^{90}Y$	28.5	2 274	850	3.1	1.1
$^{106}Ru+^{106}Rh$	1.01	3 540	1 300	4.8	1.7
^{241}Am	432.6	5 544	6	0.02	0.01

JQA

校正証明書（JQA）

校　正　結　果

機　器　効　率

放射線源	β線表面放出率 $(\mathrm{min}^{-1}/2\pi)$	表示値 (kmin^{-1})	機器効率
^{36}Cl	1.25×10^{5}	8.5	0.52

校 正 の 条 件　(1)線源検出器間距離：5 mm
(2)線源面積：150 cm²(10 cm×15 cm)
(3)検出器の入射窓面積：19.6 cm²
(4)TIME CONST：3
(5)レンジ：100k

校正の不確かさ　15 %（包含係数 k=2）

備　　　考　(1)表示値は自然計数率を差し引いた正味計数率である。
(2)機器効率は「JIS Z4329:2004」の機器効率試験に基づき、次式で求めた。
機器効率=(表示値/入射窓面積)/(β線表面放出率/線源面積)

校正の不確かさ
校正の不確かさは、拡張不確かさであり、包含係数 k=2 で決定され、約 95 %の信頼の水準を持つと推定される区間を定める。

使用した標準器等

品　名	型　式	製造番号	製造者
^{36}Cl β線標準面線源	XXXXXX	XXXXXX	Eckert & Ziegler

特記事項　校正品の受理後、修理及び調整を行わず校正を実施した。

以　上

不確かさ評価

不確かさの要因

校正における主な要因

- 表面放出率の校正
- 表面放出率の均一性
- 半減期補正

→ 面線源に起因するもの

- 被校正器の検出器位置設定
- 被校正器の検出器角度設定
- 指示値の読取り
- 散乱線の影響

→ 測定に起因するもの

校正の不確かさ

不確かさの要因	相対 標準不確かさ
標準器の校正値	1.5 %
標準器の表面放出率の均一性	2.9 %
検出器の位置設定	5.8 %
検出器の角度設定	0.87 %
検出器の指示値の読取	1.1 %
その他	1.7 %
合成標準不確かさ	7.1 %
拡張不確かさ(k=2)	15 %

（参考）表面汚染の測定方法

表面汚染の測定方法

JIS Z4504:2008　放射性表面汚染の測定方法

表面汚染密度:放射性表面汚染の放射能の汚染面積に対する比。
単位　Bq/cm^2

- 直接測定法

サーベイメータを汚染領域に直接近づけて測定する方法

- 間接測定法

ろ紙等の拭き取り材を用いて汚染領域を拭き取りサーベイメータ等で測定する方法

表面汚染の測定方法（直接法）

A_S : 表面汚染密度(Bq/cm^{-2})

n ： 総計数率(s^{-1})

n_B : バックグラウンド計数率(s^{-1})

ε_i : β粒子又はα粒子に対する機器効率

A : 検出器の入射窓面積(cm^2)

ε_S : 放射性表面汚染の線源効率(不明な場合は安全側をとって0.5を採用)

JQA

表面汚染の測定方法(間接法)

A_{Sr} :表面汚染密度(Bq/cm^{-2})

n : 総計数率(s^{-1})

n_B :バックグラウンド計数率(s^{-1})

ε_i :β粒子又はα粒子に対する機器効率

F :拭き取り効率

S:拭き取り面積

ε_S :放射性表面汚染の線源効率(不明な場合は安全側をとって0.5を採用)

JQA

おわりに

おわりに

- 表面汚染用サーベイメータは定期的な校正が必要
- エネルギー特性があるため、
  適切な線源（エネルギー）での校正が必要
- 標準面線源の構造をよく把握しておくことが重要
- 表面汚染の測定では、放射線のエネルギー・幾何学的配置など条件を可能な限り、校正時と同じ状態に近づけること

測定器の品質管理・維持

ご清聴ありがとうございました